

WYKORZYSTANIE MOBILNEGO SKANINGU LASEROWEGO DO POMIARÓW SKRAJNI LINII KOLEJOWEJ I KODYFIKACJI LINII KOLEJOWYCH¹

Zbigniew Leszczewicz

mgr inż., Naczelnik Wydziału Geodezji, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Biuro Nieruchomości i Geodezji Kolejowej, ul. Targowa 74, 03-734 Warszawa, tel. 22 473 26 02 z.leszczewicz@plk-sa.pl

Agnieszka Warda

mgr inż., Dyrektor Projektu, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Biuro Nieruchomości i Geodezji Kolejowej, ul. Targowa 74, 03-734 Warszawa, tel. 22 473 26 04 a.warda@plk-sa.pl

Tomasz Barszcz

dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Katedra Robotyki i Mechatroniki tel: (48) 12-617-33-96, tbarszcz@agh.edu.pl

Piotr Kohut

dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Katedra Robotyki i Mechatroniki tel: (48) 12-617-33-96 pko@agh.edu.pl

Sławomir Mikrut

dr inż., Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska tel. (12) 617-22-72 smikrut@agh.edu.pl

Jarosław Przywieczerski

mgr inż., EC Systems Sp. z o.o. Kraków, tel. (12) 627-77-40 jarp@ec-systems.pl

Krzysztof Pyka

dr hab. inż. prof. AGH, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska tel. (12) 617-44-75 krisfoto@agh.edu.pl

Tomasz Sitkowski

mgr inż., EC Systems Sp. z o.o. Kraków tel. (12) 627-77-40 tsitkowski@ec-systems.pl

Regina Tokarczyk

dr hab. inż. Prof. AGH - Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska tel. (12) 617-22-88 tokarcz@agh.edu.pl

Tadeusz Uhl

Prof. dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Katedra Robotyki i Mechatroniki tel: (48) 12-617-31-16, tuhl@agh.edu.pl

Streszczenie. *W artykule zaprezentowano działania PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w zakresie budowy mobilnego systemu do pomiaru skrajni linii kolejowych oraz systemu kodyfikacji. Zaprezentowano wyniki projektu pt.: „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej”, którego głównym celem jest opracowanie modelu przestrzennego infrastruktury pasa kolejowego oraz wskazanie parametrów i konfiguracji sprzętowej dla naziemnej mobilnej platformy pomiarowej.*

Słowa kluczowe: *kodyfikacja, skrajnia budowl, skrajnia ładunkowa, skrajnia taboru, skaning laserowy, MLS*

1 Wkład autorów w publikację: wszyscy autorzy po 10%

1. Wstęp

Zgodnie z zapisami *Master Planu dla Transportu Kolejowego w Polsce do 2030 roku* kodyfikacji powinny podlegać wszystkie linie kolejowej docelowej sieci, na których przewidziany jest ruch pociągów towarowych. Nie powinny podlegać kodyfikacji linie kolejowe wyłącznie dla ruchu pasażerskiego (na przykład linie dużych prędkości, linie wyłącznie dla ruchu pociągów aglomeracyjnych).

W pierwszej kolejności kodyfikacją linii kolejowych należy objąć główne ciągi transportowe (E/C-E 20, E/C-E 30, E/C-E 59, E/C-E 65, E75) oraz inne linie kolejowe dochodzące do terminali intermodalnych. W dalszej kolejności pozostałe linie kolejowe, na których prowadzony jest ruch pociągów towarowych. Po zakończeniu tego procesu, baza kodów powinna być w sposób ciągły aktualizowana, ponieważ zmiany w obrysie skrajni budowli np. w skutek prac modernizacyjnych lub prac odtworzeniowych mogą wpłynąć na bezpieczeństwo prowadzonego ruchu kolejowego. Kodyfikacji podlegać będą również linie nowobudowane transportu towarowego.

Podstawowym założeniem dla stosowania systemu kodowania odcinków linii kolejowych jest pełna i aktualna baza danych skrajni budowli linii kolejowych wprowadzonych do systemu, na podstawie której nadawane będą kody odcinkom linii kolejowych, wydawane zgody na przewóz przesyłek nadzwyczajnych i ustalone warunki przewozu tych przesyłek.

Nie jest możliwe utrzymanie pełnej i aktualnej bazy danych o skrajni budowli linii kolejowych bez sprawnego mobilnego systemu do pomiaru skrajni.

2. Kodyfikacja linii kolejowych oraz budowa systemu do pomiaru skrajni w polskim kolejnictwie

Prace nad kodowaniem linii kolejowych dla potrzeb przewozu ładunków z przekroczoną skrajnią ładunkową i transportu kombinowanego rozpoczęto w latach 90. Wnioski z przebiegu tych prac wskazały na potrzebę rozwiązania problemu baz danych parametrów skrajni poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej. Jednocześnie podczas prac stwierdzono, że uzyskane wyniki charakteryzują się zbyt małą dokładnością i precyzją. Wobec tego w 1996 r. rozpoczęto prace nad wdrożeniem pojazdu pomiarowego UPS 80 i stworzeniem odpowiedniego systemu pomiarowego.

W 2008 r. po serii badań i prób, koniecznych analiz i uzyskaniu wymaganego przepisami prawnymi świadectwa Urzędu Transportu Kolejowego dopuszczenia do eksploatacji, pojazd został wprowadzony do prac pomiarowych. Projekt systemów pomiarowych zamontowanych na pojeździe realizowany był jako praca badawcza, a konstrukcję traktowano jako prototyp wymagający wprowadzenia zmian znaczących dla poprawy jego sprawności i dokładności oraz automatyzacji pomiarów.

Wobec rozwoju nowej techniki skaningu laserowego doświadczenia wykazały konieczność rozbudowy i uzupełnienia systemów pomiarowych o urządzenia ciągłego skanowania laserowego przy pomocy jedno- lub wielogłowicowych skanerów.

W grudniu 2009 r. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. złożyła do Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) wniosek autorstwa Biura Nieruchomości i Geodezji Kolejowej (IGK) o dofinansowanie projektu pn. „Opracowanie innowacyjnej metodyki i informatycznego systemu zarządzania dla kodyfikacji linii kolejowej” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 1.4-4.1 (POIG) 2007-2013. Projekt uzyskał rekomendacje do otrzymania wsparcia i w listopadzie 2010 r. została podpisana umowa na dofinansowanie przedsięwzięcia.

Projekt dotyczył opracowania modelu przestrzennego infrastruktury pasa kolejowego charakteryzującego się dokładnością odwzorowania obiektów na poziomie umożliwiającym odtworzenie skrajni budowli na liniach kolejowych według standardów określonych w kartach UIC oraz innych normach obowiązujących w Polsce oraz prototypu systemu informatycznego dla kodyfikacji linii kolejowych. Jako podstawę funkcjonowania tego modelu przewidziano przestrzenną bazę danych infrastruktury kolejowej umożliwiającą kompilację, aktualizację i przetwarzanie, według ściśle określonych algorytmów, danych pozyskiwanych przy udziale różnych technik i metod pomiarowych stosowanych w fotogrametrii, a także ich prezentację w przestrzeni wirtualnej.

Główne cele projektu:

- opracowanie modelu przestrzennego infrastruktury pasa kolejowego charakteryzującego się dokładnością odwzorowania obiektów na poziomie umożliwiającym modelowanie skrajni infrastruktury linii kolejowych według standardów określonych w kartach UIC oraz innych normach obowiązujących w Polsce,
- opracowanie bazy danych przestrzennych infrastruktury kolejowej, której parametry powinny umożliwić import i kompilację pomiarów pozyskiwanych z różnych źródeł, ich aktualizację, przetwarzanie według algorytmów zaprojektowanych na potrzeby pomiaru skrajni linii kolejowych, a także przestrzenną wizualizację wyników, z opcją interaktywnego precyzyjnego pomiaru szczegółów sytuacyjnych,
- opracowanie prototypu informatycznego systemu zarządzania kodyfikacją linii kolejowych,
- przetestowanie dostępnych na rynku mobilnych pojazdów pomiarowych (w tym dwudrogowych) oraz wskazanie parametrów i konfiguracji sprzętowej dla naziemnej mobilnej platformy pomiarowej poruszającej się z prędkością około 100 km/h, która umożliwia pomiar skrajni.

Ponadto Spółka opracowała kompleksowy program budowy, wdrożenia i funkcjonowania systemu kodyfikacji linii kolejowych i prowadzenia przewozu przesyłek nadzwyczajnych w oparciu o pomiary skaningowe skrajni linii kolejowych, w ramach, którego wyodrębniono trzy podstawowe bloki:

Blok A - budowa, zasady i uwarunkowania eksploatacji systemu pomiarowego skrajni budowli linii kolejowej z uwzględnieniem geometrii toru,

Blok B - opracowanie struktury przestrzennej bazy danych o skrajni budowli linii kolejowych, budowa systemu informatycznego nadawania kodów odcinkom linii kolejowych i wdrożenie tego systemu do użytkowania,

Blok C - opracowanie koncepcji budowy i wdrożenia do użytkowania systemu informatycznego pozwalającego na prowadzenie uzgodnień tras i warunków przewozu przesyłek nadzwyczajnych opartego na obowiązujących zasadach kodowania przesyłek i kodowania odcinków linii kolejowych.

3. Normy i przepisy obowiązujące w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. dotyczące kodyfikacji linii kolejowych i przewozu przesyłek nadzwyczajnych

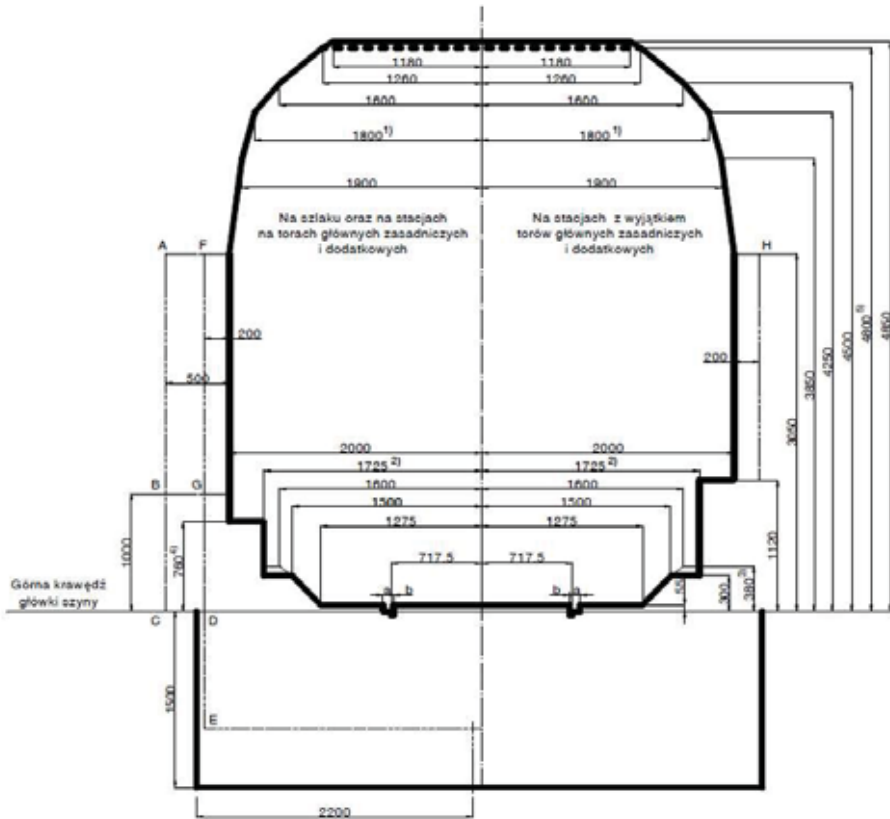
3.1. Skrajnia budowli

Skrajnia budowli jest to zarys figury płaskiej, stanowiący podstawę do określania wolnej przestrzeni dla ruchu pojazdów szynowych, na zewnątrz której powinny znajdować się wszelkie budowle, urządzenia i przedmioty położone przy torze, z wyjątkiem urządzeń przeznaczonych do bezpośredniego współdziałania z taborem jak na przykład hamulce torowe w stanie roboczym i przewody jezdne. Wymiary skrajni w kierunku pionowym liczy się w [mm] od powierzchni główki szyny, a w kierunku poziomym - od osi toru.

Wymiary skrajni budowli obowiązują na prostych odcinkach toru oraz w łukach o promieniu większym niż 4000 m, natomiast w łukach o promieniach 4000 m i mniejszych należy stosować poszerzenie poziomych wymiarów skrajni.

Podstawowymi skrajniami obowiązującymi w Polsce wg IR-10 są:

- skrajnia budowli na liniach niepodlegających elektryfikacji (skrajnia A),
- skrajnia budowli linii zelektryfikowanych z siecią górną, dla budowli istniejących (skrajnia B),
- skrajnia budowli linii zelektryfikowanych z siecią górną dla nowych budowli ciężkich, tj. takich, których stateczność umożliwia zakotwienie linki nośnej przewodów jezdnych trakcji elektrycznej (skrajnia C),
- skrajnia budowli linii zelektryfikowanych z siecią górną dla nowych budowli lekkich tj. takich, których stateczność uniemożliwia zakotwienie linki nośnej przewodów jezdnych trakcji elektrycznej (skrajnia D).



Rys. 1. Przykład skrajni budowli - skrajnia A

Odcinki linii oznaczone niżej podanymi literami określają wymaganą wolną przestrzeń:

AB - na przystankach,

ABC - na obiektach mostowych długości ponad 20 m bez wykusy z jazdą górą,

ABCDE - na szlakach, z wyjątkiem peronów na przystankach i przestrzeni na i pod obiektami mostowymi,

ABGDE - pod nowo budowanymi obiektami mostowymi na szlaku,

FG - na stacyjnych torach głównych zasadniczych i dodatkowych oraz na obiektach mostowych długości poniżej 20 m lub długości powyżej 20 m z jazdą dołem, jeżeli istnieje wolna przestrzeń w płaszczyźnie dźwigara głównego,

FGD - na obiektach mostowych długości poniżej 20 m lub długości powyżej 20 m z jazdą górą w przypadku zastosowania wykusy oraz pod istniejącymi obiektami mostowymi na szlaku,

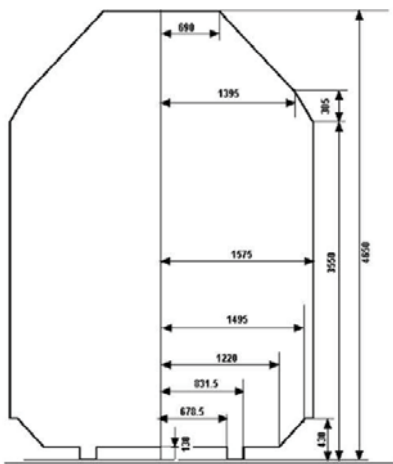
HI - na torach stacyjnych, z wyjątkiem torów głównych zasadniczych i dodatkowych.

3.2. Skrajnia taboru

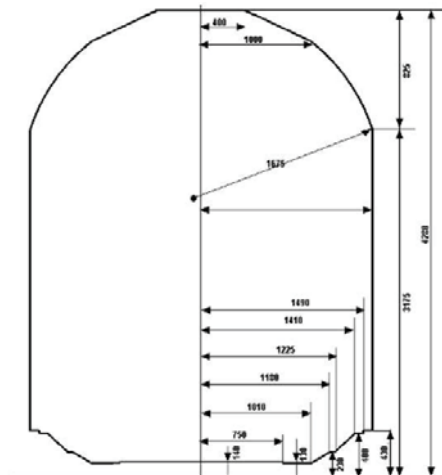
Skrajnia taboru jest największym zarysem (gabarytem), którego nie mogą przekroczyć poszczególne elementy pojazdu. Otrzymujemy go przez zastosowanie reguł dotyczących zwężeń względem zarysu odniesienia. Zwężenia zależą od wielkości charakterystycznych rozpatrywanego pojazdu, położenia danego rozważanego punktu nad główką szyny, luzów konstrukcji, przewidzianych maksymalnych zużyć i wielkości charakterystycznych sprężynowania.

3.3. Skrajnia ładunkowa

Jest to zarys figury płaskiej stanowiący podstawę do określenia największych dopuszczalnych wymiarów ładunku spoczywającego na wagonie – pionowych, licząc od górnej powierzchni główki szyny oraz poziomych, licząc od osi toru. Skrajnia ładunku jest największym zarysem, którego nie mogą przekroczyć poszczególne elementy przewożonego ładunku. Jest ona wyliczana na podstawie wzorów stosowanych do obliczeń skrajni kinematycznej taboru z uwzględnieniem tolerancji przemieszczania ładunku w zależności od jego rodzaju i odniesiona jest do zarysu skrajni budowli.



Rys. 2. Skrajnia ładunkowa obowiązująca w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.



Rys. 3. Międzynarodowa skrajnia ładunkowa RIV

3.4. Przewóz przesyłek nadzwyczajnych

W PKP Polskich Liniach Kolejowych S.A. w procesie uzgadniania przewozu przesyłek nadzwyczajnych nie wykorzystuje się kodyfikacji linii kolejowych z powodu braku systemu kodyfikacji linii kolejowych. Każdorazowo przewóz taki rozpatruje się indywidualnie przy wykorzystaniu danych o miejscach kolizyjnych skrajni budowli linii kolejowych. Proces ten reguluje *Instrukcja o przewozie przesyłek*

nadzwyczajnych IR-10. Przedmiotowa Instrukcja zapewnia bezpieczeństwo ruchu przy przewozie przesyłek nadzwyczajnych, ustalenie organizacji oraz jednolitego trybu postępowania Zarządcy i przewoźników kolejowych przy przewozie przesyłek nadzwyczajnych.

Jako przesyłkę nadzwyczajną przyjmuje się przewóz rzeczy i pojazdy, których transport może powodować trudności w przewozie koleją i wymaga zachowania szczególnych warunków techniczno ruchowych ze względu na:

- kształt, rozmiary lub masę;
- sposób załadowania, rozmieszczenia i zabezpieczenia na wagonie;
- użyte środki przewozowe;
- drogę przewozu.

W procesie uzgadniania przewozu przesyłek nadzwyczajnych biorą udział Centrum Zarządzania Ruchem Kolejowym oraz Zakłady Linii Kolejowych:

a. Centrum Zarządzania Ruchem Kolejowym – ID Warszawa

ID Warszawa po otrzymaniu zgłoszenia od klienta potrzeby przewozu przesyłki nadzwyczajnej (w tym przypadku o wymiarach przekraczających obowiązującą skrajnię taboru lub skrajnię ładunkową) zgodnie z przepisami Ir-10 podejmuje decyzję o przyjęciu przesyłki do przewozu. W przypadku wyrażenia zgody na przewóz podaje trasę przewozu, określa warunki przewozu i wydaje zgodę na uruchomienie takiego przewozu.

Przed wyrażeniem zgody na przewóz ID Warszawa przekazuje dane o wymiarach przesyłki i propozycji tras przewozu do odpowiednich terytorialnie Zakładów Linii Kolejowych w celu ustalenia możliwości przewozu i określenia trasy warunków na wybranej trasie przewozu przesyłki nadzwyczajnej.

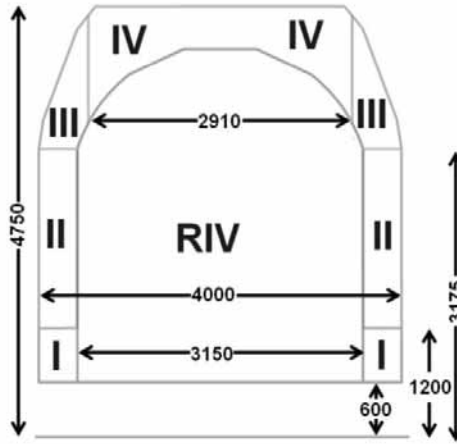
b. Zakłady Linii Kolejowej - IZ

Zakłady Linii Kolejowych informacje o skrajni linii kolejowych posiadają w formie papierowej, jako:

- arkusze inwentaryzacji skrajni budowli z pomiarów geodezyjnych elementów infrastruktury kolejowej w obszarze skrajni budowli linii kolejowej,
- arkusze pomiaru pojazdem UPS 80 elementów kolizyjnych z obrysem skrajni budowli,
- wyniki pomiarów powykonawczych obiektów infrastruktury kolejowej i infrastruktury innych właścicieli lub zarządców, przebudowanych lub remontowanych,
- wyniki pomiarów własnych (diagnostów zakładowych).

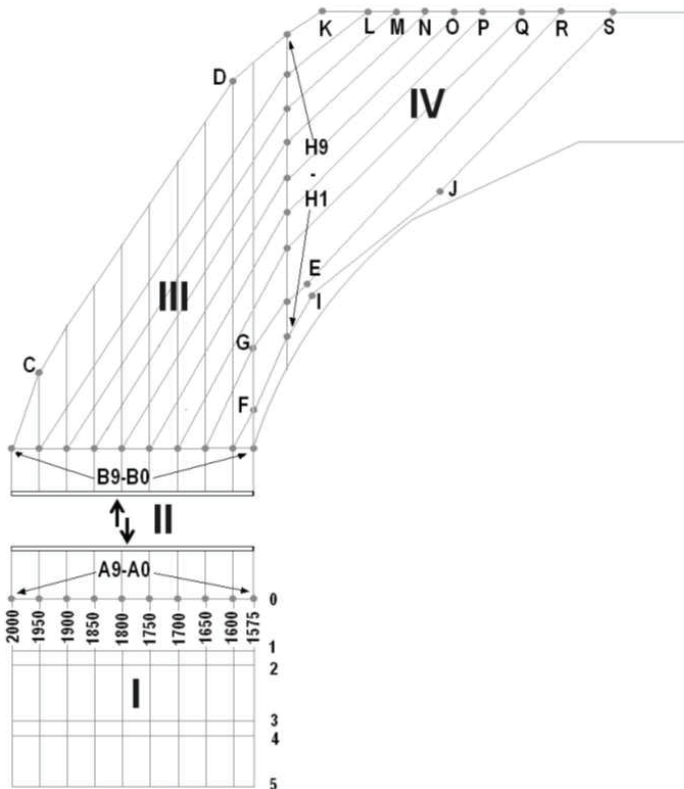
3.5. Istota kodyfikacji wg karty UIC 502-2

Zgodnie z zapisami Karty UIC 502-2 skrajnia dzieli się na cztery sektory. Opisana procedura konturowa w ww. karcie jest rekomendowana do określenia zarówno kodu linii kolejowej jak i przesyłki. Ponadto opisane są procedury decydujące czy ładunek opisany kodem może zostać przyjęty do przewozu przez odcinek trasy również opisany kodem.



Rys. 4. Sektory w procedurze konturowej na tle międzynarodowej skrajni ładunkowej RIV (ograniczonej od dołu na wysokości 600 mm)

Rysunek poniżej (rys. 5) przedstawia wszystkie punkty zdefiniowane w karcie UIC 502-2 opisujące wspomniane wyżej sektory.

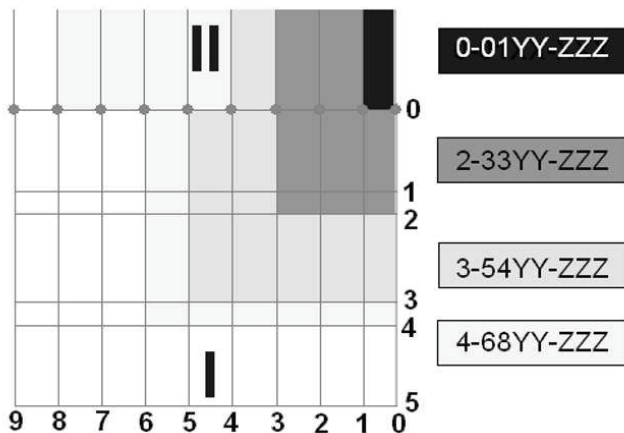


Rys. 5. Położenie punktów definiujących schemat kodowania (rysunek bez zachowania skali)

Kod jest formatu X-YYYY-ZZZ, gdzie:

- X – oznacza cyfrę [0-5] opisującą linię poziomą w sektorze I ograniczającą zarys od dołu,
- Y – oznacza przypisaną do każdego sektora cyfrę, opisującą linię ograniczającą kontur w tym sektorze (linie zostały opisane w dalszej części raportu),
- ZZZ – opisuje 3-cyfrową liczbę oznaczającą wyrażone w [cm] ograniczenie konturu od góry,
- część X-YYYY oznacza kod podstawy,
- część ZZZ oznacza kod dodatkowy.

Zasada przejścia pomiędzy sektorami na przykładzie sektorów I-II (rys. 6).



Rys. 6. Przykład możliwych konturów i ich kodów

Linia nr 0 wyznacza granicę sektorów I i II. W przypadku, gdy pierwsza cyfra kodu wynosi 0, to druga również musi wynosić 0 (kod 0-0YYYY-ZZZ oznacza, że opisywany kontur nie zawiera się w I sektorze, natomiast kod 5-9YYYY-ZZZ oznacza, że opisywany kontur w całości wypełnia I sektor).

Poza cyframi opisującymi linie w każdym z sektorów, wprowadzony został kod dodatkowy opisujący wyrażoną w [cm] wysokość od główki szyny.

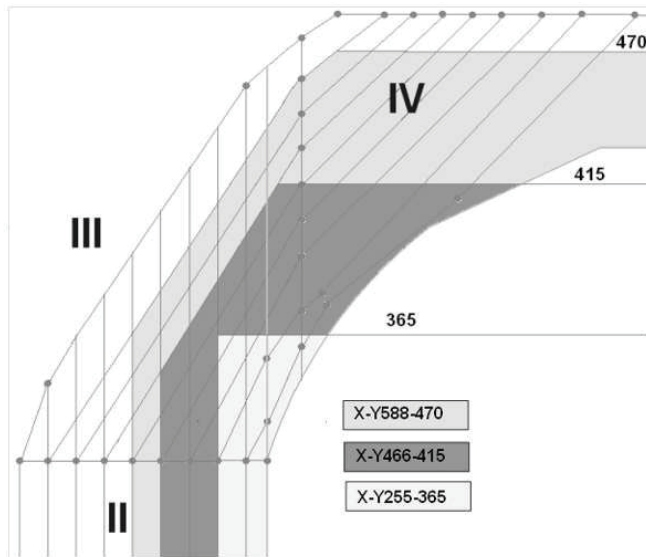
Jeżeli linia ograniczająca wysokość:

- przecina kontur w I sektorze (wysokość 60–120 cm), to kody muszą mieć postać [X-Y000-065], [X-Y000-110] – wszystkie cyfry odnoszące się do pozostałych sektorów muszą wynosić 0,
- przecina kontur w II sektorze (na wysokości 120–317 cm), to kody muszą mieć postać np. [X-Y600-289],
- przecina kontur tylko w IV sektorze (na wysokości 360–475 cm), to część podstawowa kodu nie zostaje zmieniona,
- jeśli nie ma ograniczenia od góry kody są zawsze postaci [X-YYYY-475].

Szczególnym przypadkiem jest przecięcie konturu w III sektorze.

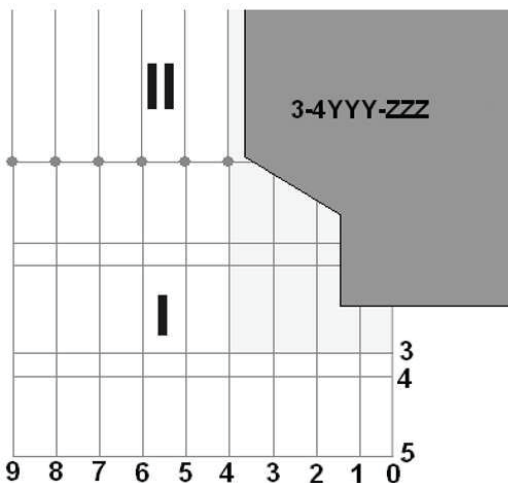
Jeżeli linia ograniczająca kontur od góry przecina go w sektorze III, to istnieją dwie możliwości:

- gdy przecięcie następuje z linią ukośną, to kod podstawowy musi mieć dwie ostatnie cyfry takie same np. [X-Y466-415],
- gdy przecięcie następuje z linią pionową to druga i trzecia cyfra kodu muszą wskazywać linię pokrywającą punkt narożny np. [X-Y255-365].



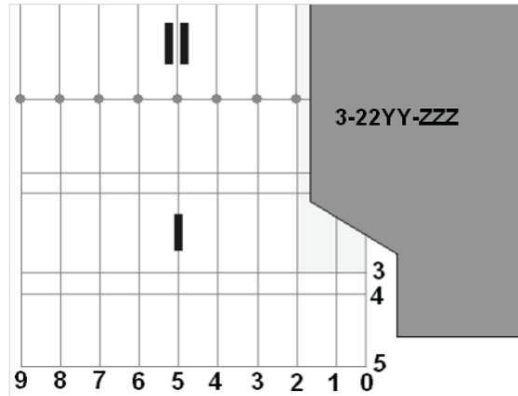
Rys. 7. Przykład kodów dodatkowych ograniczających kontur w 3 sektorze

Aby móc w pełni korzystać z systemu kodyfikacji konieczne jest kodowanie przesylek. Przy ustaleniu ograniczeń wysokości istotne są tylko te punkty, które przekraczają zarys [0-0000-000] – skrajnię RIV. Poniżej (rys. 8+10) przedstawiono kilka przykładów kodowania przesylek.

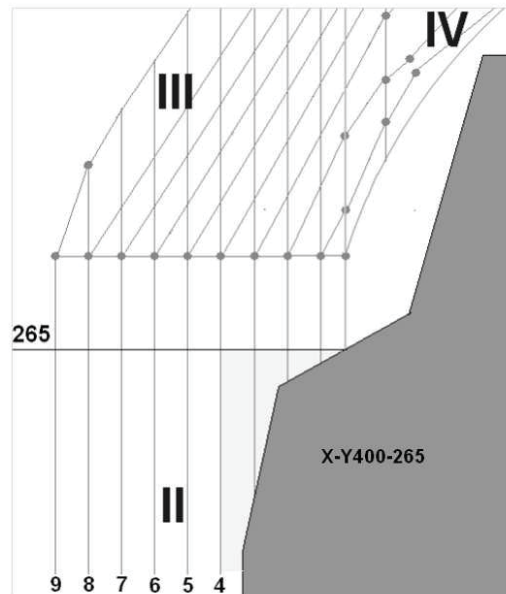


Rys. 8. Przesyłka od dołu ograniczona jest w sektorze I linią poziomą. W tym przypadku zarys ograniczony jest linią poziomą nr 3, a z lewej linią nr 4 – kod {3-4YYYY-ZZZ}

Rys. 9. Przesyłka od dołu ograniczona jest linią ukośną w sektorze I. Mimo, iż przesyłka od dołu kończy się poniżej linii nr 4, to elementy tam leżące zajmują obszar skrajni ładunkowej RIV i nie są uwzględnione. W tym przypadku istotne jest przecięcie z granicą sektora I, które znajduje się powyżej linii nr 3 – kod {3-22YY-ZZZ}



Rys. 10. Przesyłka ograniczona jest linią ukośną w sektorze II. Mimo, iż przesyłka jest wyższa niż 265 cm, to punkty leżące wewnątrz zarysu RIV nie są istotne, pod uwagę brany jest najwyższy punkt przesyłki w sektorze II – kod {X-Y400-265}



Zaletą opisaną procedurę kodowej jest łatwość określenia, czy dana przesyłka jest możliwa do przyjęcia na danym odcinku trasy. Posiadając kody linii (odcinków linii, bądź ich złożenia) oraz kod przesyłki wystarczy tylko je porównać.

W przypadku, kiedy zarówno odcinek trasy jak i przesyłka opisane są za pomocą pojedynczych kodów przesyłka jest możliwa do przyjęcia tylko wtedy, gdy żadna z części kodu przesyłki nie jest większa niż analogiczna część kodu trasy.

Porównanie kodu przesyłki {0-0444-425} i {0-0466-425} z kodem odcinka linii kolejowej {3-3544-465}:

Linia	3	3	5	4	4	465
Przesyłka	0	0	4	4	4	425
Rezultat	√	√	√	√	√	√

Oznacza to, że przesyłka jest możliwa do przyjęcia.

Linia	3	3	5	4	4	465
Przesyłka	0	0	4	6	6	425
Rezultat	√	√	√	×	×	√

Oznacza to, że przesyłka nie jest możliwa do przyjęcia.

4. Mobilny skaning laserowy (MLS)

Skaning laserowy jest stosunkowo nową techniką pomiarową. Polega na wysyłaniu przez skaner impulsów laserowych i rejestracji ich odbicia od obiektów. Czas, jaki mija od wysłania do powrotu impulsu jest podstawą obliczenia odległości pomiędzy skanerem a obiektem. Impulsy wysłane są z bardzo wysoką częstotliwością, rzędu kilkuset Hz, co powoduje, że wynikiem skanowania jest tzw. chmura punktów, czyli bardzo liczny zbiór punktów odbitych od otaczających skaner obiektów, z których każdy ma znaną pozycję w stosunku do skanera. Skanowanie jest stosowane zarówno z pułapu lotniczego jak i ze stanowisk naziemnych, stałych lub ruchomych. Gdy pomiar odbywa się z naziemnej, ale ruchomej platformy pomiarowej, wówczas mówimy o skanowaniu mobilnym (ang. MLS - Mobile Laser Scanning).

Mobilny skaning laserowy jest, zatem techniką, która rejestruje dane w sposób dynamiczny dzięki poruszaniu się z określoną prędkością systemów pomiarowych zainstalowanych na wybranym pojeździe (samochód, platforma kolejowa, łódź itp.).

Urządzenia pomiarowe usytuowane na takiej platformie z reguły zawierają:

- jeden lub kilka skanerów laserowych,
- kamery fotograficzne (do kolorowania chmury punktów i rejestrowania przestrzeni);
- kamery wizyjne (ciągły zapis trasy);
- urządzenia rejestrujące pozycję skanera INS/GPS i odometr.

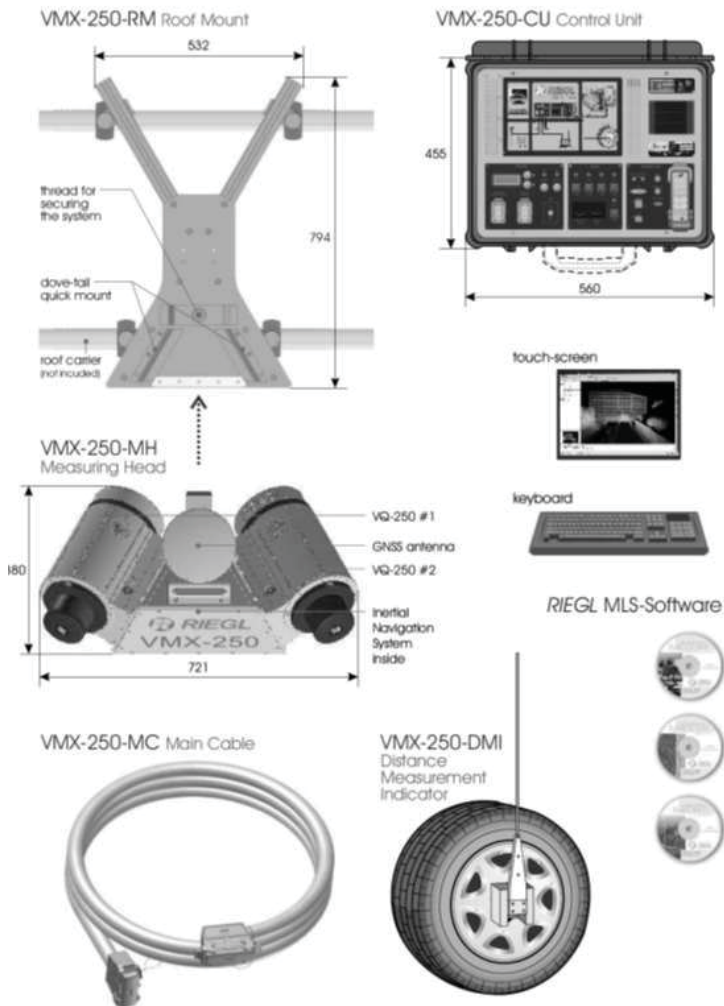
Poniżej zaprezentowano przykładowy system VMX do skanowania mobilnego - jeden z popularniejszych w Europie – bazujący na rozwiązaniu firmy RIEGL (fot. 1).

System składa się z dwóch skanerów impulsowych, czterech kamer (z możliwością dołączenia dwóch dodatkowych), systemu INS/GPS, jednostki DMI oraz urządzenia sterującego.

System dwóch skanerów impulsowych jest ułożony pod odpowiednim kątem tak, aby pozyskiwać dane terenowe w postaci przecinających się przekrojów zapisanych, jako chmura punktów.

Istnieją również systemy bazujące na skanerach fazowych. Różnica w obu rozwiązaniach polega na sposobie określania odległości od instrumentu do obiektu (skanery impulsowe bazują na pomiarze czasu powrotu impulsu do bazy po odbiciu od obiektu, natomiast te drugie odległość wyznaczają na podstawie analizy

przesunięcia fazowego). Dokładności z obu systemów są na podobnym poziomie, a więc do jednego do kilku mm.



Fot. 1. Mobilny system skanujący Riegl VMX-250

(Źródło: <http://www.rieglusa.com>)

Doświadczenia praktyczne wskazują, że istnieją sytuacje, kiedy uzyskane dokładności znacząco odbiegają od sugerowanych przez producentów skanerów. Technologia skaningu generuje błędy, związane z konstrukcją instrumentu, jak również błędy uzależnione od właściwości światła lasera.

Błędy można podzielić na wynikające z czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Do czynników wewnętrznych należą: metoda pomiaru odległości i kąta, gęstość skanowania i wielkość średnicy plamki lasera. Czynniki zewnętrzne to: kąta padania wiązki, właściwości odbijające, geometria obiektu i warunki środowisko-

we. Badania nad dokładnością naziemnych skanerów laserowych realizowane są w wielu ośrodkach naukowych na świecie. Autorzy projektu, jako jeden z celów postawili sobie przetestowanie obu rozwiązań (tj. fazowego i impulsowego).

5. Opis eksperymentów z zastosowaniem mobilnego skaningu laserowego

Dane pomiarowe z mobilnego skaningu laserowego mają swoje zalety (szybkie pozyskiwanie danych), ale również i swoje wady. Przy dużych ilościach danych pomiarowych występuje problem ich obróbki i przechowywania, czyli w konsekwencji operacje bazodanowe przy standardowych procedurach działają bardzo wolno.

Autorzy projektu tworząc aplikację bazodanową, wyszli z założenia, że tylko pomiar rzeczywisty i praca na danych terenowych pozwoli na prawdziwą weryfikację możliwości zaprojektowanych algorytmów. Znając wady i zalety skanerów fazowych i impulsowych oraz technologię opracowania danych, zdecydowano, że zostanie wykonany pomiar terenowy przy pomocy obu systemów. Do realizacji pomiarów testowych wybrano 3 odcinki po 10 km na trasie Warszawa-Kraków o różnej specyfice terenu tak, aby uwzględnić czynniki:

- istnienie wybranych elementów infrastruktury skrajni takich jak: mosty, wiadukty, semafony różnych typów, słupy trakcyjne, perony, wiaty peronowe, tunel;
- względnie urozmaiconą geometrię szlaku obejmującą łuki kołowe i krzywe przejściowe,
- istnienie założonej osnowy geodezyjnej z zastabilizowanymi już punktami. Miało to bardzo duże znaczenie, bo znacznie skróciło czas przygotowań do projektu oraz koszty opracowania.

W ramach projektu został w terenie wykonany pomiar referencyjny geodezyjny mający na celu sprawdzenie dokładności wybranych metod. W oparciu o pomierzoną osnowę geodezyjną, dokonano pomiaru metodą biegunową profili prostopadłych do kierunku szyn oraz tachimetrycznego pomiaru wybranych elementów infrastruktury skrajni.

5.1. Pozyskanie danych

Aby porównać możliwości i dokładności różnych systemów zdecydowano się na osobny pomiar dwoma niezależnymi metodami:

System I (oparty o skaner fazowy – fot. 2) - skaner profilujący prostopadle do kierunku jazdy,

System II (oparty o skanery impulsowe – fot. 3) - skanery profilujące w dwóch kierunkach ukośnych zintegrowane z kamerami.

System I miał za zadanie sprawdzenie technologii pomiaru urządzeniem tzw. „dedykowanym dla kolei”. Wykorzystano skaner profilujący Z+F PROFILER 9000 sprzężony z odometrem. System ten pracuje w trybie pozyskiwania danych

w płaszczyznach prostopadłych do kierunku jazdy pociągu i dokonuje pomiaru w układzie osi toru. Z+F PROFILER 9000 wykorzystuje tylko jeden skaner poruszający pozyskiwać dane w zakresie 360°, w odróżnieniu od wcześniejszej wersji – PROFILER'a 6007 DUO, który korzystał z dwóch skanerów.



Fot. 2. System I – skaner Z+F Profiler 9000 podczas montażu na wagonie kolejowym

Skaner współpracuje z odometrem R088ND3 firmy Wenglor. Ze względów bezpieczeństwa Z+F PROFILER 9000 umieszczono na platformie (wagon typu RES), na wcześniej przygotowanej konstrukcji (fot. 2). System pomiarowy Z+F PROFILER 9000 jest najszybszym skanerem dostarczającym dane w postaci dwuwymiarowych profili. Jest to skaner fazowy pozwalający na rejestrację powyżej 1 mln punktów na sekundę z maksymalną prędkością rejestracji 200 profili na sekundę. Dzięki tym parametrom można otrzymać bardzo małe odległości między przekrojami nawet przy dużych prędkościach platformy.

Drugi system pomiarowy (System II – fot. 3) bazował na rozwiązaniu firmy RIEGL – VMX-250.



Fot. 3. System II oparty o rozwiązanie firmy RIEGL - VMX 250

W trakcie badań zmieniono konfigurację części składowych, rozszerzając ją o dodatkowe kamery NIKON D7000. RIEGL VMX – 250 to zespół dwóch skanerów Riegl VQ – 250 wraz z systemem GPS, zainstalowanych pod aerodynamiczną osłoną. W jego skład wchodzi również cztery kamery cyfrowe, służące do kolorowania chmury punktów, których zakres widzenia może być określony dla każdej kamery indywidualnie, w zależności od wymagań projektu. Cały system znajdował się na dachu samochodu, który umieszczono na platformie wagonowej.

5.2. Ocena jakości pozyskanych danych

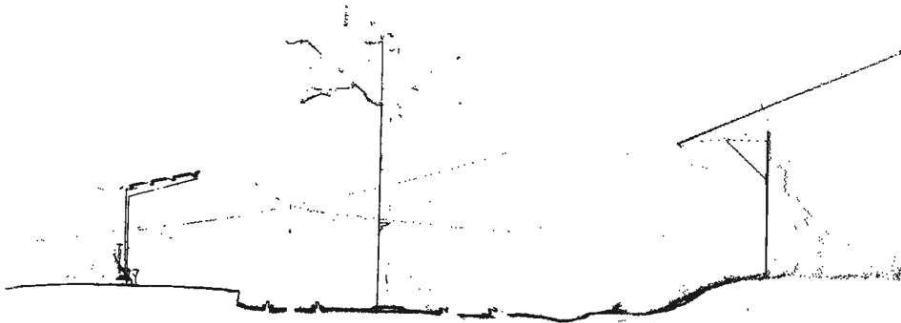
Po wykonaniu rejestracji danych platformą pomiarową (Systemem I i II) oraz wykonaniu geodezyjnych pomiarów referencyjnych, kolejnym etapem były badania jakości geometrycznej pozyskanych danych.

Zbadano zgodność chmury punktów pozyskanej Systemem II w oparciu o punkty kontrolne. W trakcie przejazdu platformy pomiarowej zostały postawione tyczki, których współrzędne punktów charakterystycznych wyznaczono techniką GPS (dokładnie punkty początkowe tyczek). Wzdłuż trasy przejazdu rozmieszczono 16 punktów kontrolnych. Następnie wyznaczenie dokładności na poszczególnych przekrojach wykonano w oparciu o pomiar geodezyjny oraz pomiar precyzyjnym tor mierzącym (LaserTEC) zapewniając dokładność milimetrową. Dokonano również porównania na 31 punktach przekrojów (pomiar geodezyjny oraz kameralny na chmurze punktów). Odchyłki mierzono w płaszczyźnie przekroju prostopadłej do osi toru. Szerokość przekroju dobierana była w zależności od mierzonych elementów infrastruktury. Wahala się pomiędzy 0.10 m a 1 m.

W trakcie badań pomierzono skrajnie w 10 wybranych przekrojach. Odchyłki mierzono w płaszczyźnie przekroju w układzie geodezyjnym '2000. Mieściły się

w dopuszczalnej granicy, jaką przyjęto na poziomie 2 cm. Dodatkowo, w okolicy stacji kolejowej wykonano pomiar 32 punktów na torach oraz 16 tyczek ustawionych przed przejazdem skanera. Pomiar ten wykonano tylko dla Systemu II. Przykładowy przekrój poprzeczny pokazano na rys. 11.

Oprócz jakości geometrycznej chmury punktów dokonano również sprawdzenia jakości danych pod kątem ich przygotowania do dalszej obróbki. W ramach projektu dokonano próby automatycznej klasyfikacji całości chmury punktów oraz dodatkowo sklasyfikowano manualnie wybrane elementy na odcinkach, gdzie wykonywano pomiary geodezyjne tj. w tunelu, na fragmencie szlaku przed tunelem oraz dla stacji kolejowej. Badano również możliwości oceny geometrycznej danych na poszczególnych przekrojach. Dla wybranych miejsc dokonano porównania przekroi pozyskanych oboma systemami. Przykładowe wyniki porównania przedstawiono na rysunkach 12 i 13.



Rys. 11. Przekrój poprzeczny przez stację w Słomnikach pozyskany Systemem II

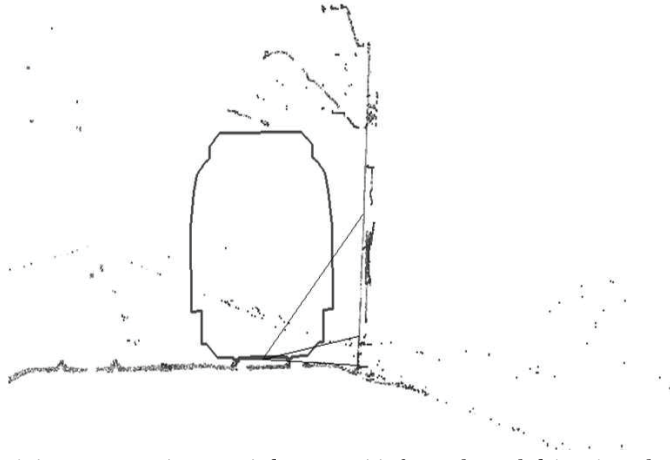
Warto zwrócić uwagę, że testowano systemy o zdecydowanie innych podstawach referencyjnych. Jeden odnosił pomiary tylko do układu toru, a drugi lokalizował je w układzie globalnym. Oba rozwiązania mają swoje wady i zalety. Pomiar odniesiony do torów jest mniej skomplikowany, nie wymaga modułu GNSS/IMU i daje wyższą dokładność pomiaru skrajni. Pomiar globalny pozwala nie tylko na pomiar skrajni, ale także na badanie niektórych parametrów geometrii toru (odcinki prostoliniowe, krzywe przejściowe, łuki kołowe, przechyłka). Kosztem dostępu do georeferencji jest nieco niższa dokładność, która lokuje się blisko dopuszczalnej granicy, lub ją nieco przekracza.

Jednym z elementów, który podlegał również analizie był wpływ prędkości poruszania się platformy na dokładność analizowanych danych. Wykonano kilka pomiarów przy prędkościach 40, 60 i 80 km/h.

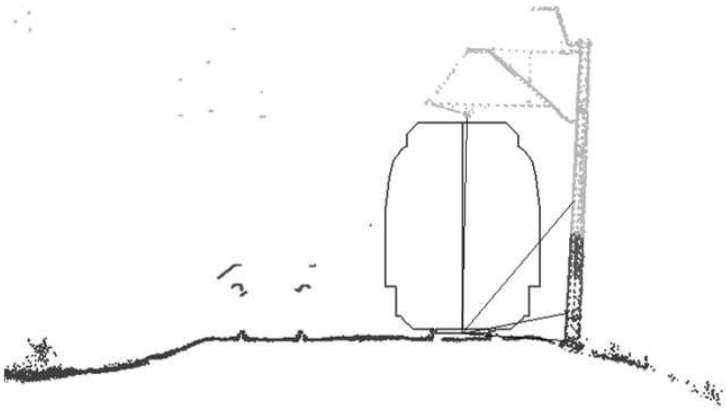
Wyniki pokazały, że dokładność lokalizacji obiektów nie zmienia się znacząco przy zwiększaniu prędkości platformy, a więc można powiedzieć, że jest na poziomie dokładności identyfikacji wybranych elementów. Jedyne wpływy, jakie ma prędkość, to gęstość pozyskiwanych danych. Przy prędkości ponad 80 km/h odległość między punktami dochodzi nawet do kilkunastu centymetrów. Ma to duże znaczenie w sytuacji, gdy analizie podlegają kilkucenty-

metrowe elementy. Wówczas może dojść do tego, że dany obiekt nie został zarejestrowany.

Odpowiedzią na to jest system fotogrametryczny, który w takich sytuacjach powinien wyłapać te błędy. Projektowana baza danych i system do określania skrajni musi, zatem uwzględniać dane w postaci chmury punktów jak i obrazów cyfrowych.



Rys. 12. Skrajnia wraz z pomierzonymi elementami infrastruktury kolejowej uzyskanymi z pomiaru toromierzem, na tle chmury punktów pochodzącej z systemu Z+F Profiler 9000



Rys. 13. Skrajnia wraz z pomierzonymi elementami infrastruktury kolejowej uzyskanymi z pomiaru toromierzem, na tle chmury punktów pochodzącej z systemu Riegl VMX - 250

6. Wyniki badań

Po przeanalizowaniu danych oraz przebadaniu ich jakości, dokonano podsumowania mającego na celu wskazanie wad i zalet poszczególnych systemów. Wynioskowano, że najlepszym rozwiązaniem będzie model hybrydowy, a więc łączący oba rozwiązania. Faktem jest, że system II nie radził sobie dobrze z rejestracją

małych elementów, tj. występowały luki w danych obejmujących np. przydrożne wskaźniki. Tu celowe wydaje się wzmocnienie chmury punktów pomiarem trzecim skanerem, ustawionym prostopadle do kierunku jazdy lub szybszymi dwoma.

Opcjonalnie można również rozważyć zastosowanie tylko dwóch skanerów impulsowych w przypadku, kiedy ich częstotliwość będzie na poziomie 200 Hz (np. system VMX – 450).

W systemie I występowało dość duże zaszumienie danych. Jeśli chodzi o rejestrację obrazową i rozmieszczenie kamer, to po przeanalizowaniu materiału zarejestrowanego przez aparaty Nikon, autorzy doszli do wniosku, że bardziej przydatny jest widok w przód niż na boki, co zostanie uwzględnione w prototypie.

6.1. Propozycja prototypu platformy pomiarowej

Efektom prowadzonych eksperymentów jest propozycja modelu platformy pomiarowej. Przyjęto założenie, że system będzie zainstalowany na platformie wagonowej ciągniętej przez lokomotywę z maksymalną prędkością 100 km/h. Umieszczenie systemu w tylnej jej części posiada, w stosunku do lokalizacji z przodu lokomotywy, następujące zalety:

- badania modelu można realizować z wykorzystaniem standardowej platformy kolejowej,
- na platformie wagonowej można instalować system sterowania i rejestracji danych, system skanerowy, system georeferencyjny i system fotogrametryczny stosując wariantowe sposoby ich wzajemnego umiejscowienia,
- skanowanie ukośne do osi toru może odbywać się w prawie pełnych profilach 360° (w przypadku, gdy system skanerowo-fotogrametryczny byłby zamocowany przed lokomotywą skanowanie ukośne odbywa się w profilach 0-180°).

Proponowana platforma pomiarowa powinna się składać z następujących komponentów:

- układ skanerów 2D profilujących w trzech kierunkach: prostopadle do osi toru oraz w dwóch kierunkach ukośnych,
- układ czterech kamer do kolorowania chmury punktów ze skaningu laserowego,
- moduł georeferencyjny GNSS/IMU zintegrowany z skanerami i kamerami,
- moduł fotogrametryczny składający się z układu stereowizyjnych o geometrii kanonicznej lub lekko zbieżnej.

Moduł skanerowy składać się powinien z minimum trzech laserów skanujących 2D. Dwa skanery typu impulsowego są ułożone ukośnie, są skonfigurowane na realizację pomiaru w zakresie 1-50 metrów, minimalna częstotliwość każdego z nich to 100 Hz. Skaner profilujący prostopadle jest typu fazowego o częstotliwości 300 Hz. W chwili obecnej maksymalna częstotliwość profilowania dostępnych rynkowo skanerów wynosi 200 Hz, dlatego można rozważyć opcjonalnie przejściowe użycie dwóch skanerów profilujących. Układ skanerów powinien dostarczać chmurę punktów o średniej odległości pomiędzy profilami prostopadłymi nie większej niż 10 cm przy szybkości ruchu do 100 km/h (z gęstością punktów

w płaszczyźnie profili rzędu kilku - kilkunastu mm). Zapewni to wykrycie elementów w skrajni i w jej bliskim otoczeniu o wymiarach minimalnych 10cm x 10cm. Jeśli zostaną zastosowane dwa skanery o częstotliwości profilowania 200 Hz każdy, to wówczas rozdzielczość wykrywania detali wzrasta, osiąga poziom 7 cm w kierunku równoległym do osi toru, dla zwiększenia rozdzielczości w kierunku prostopadłym nie ma barier technologicznych.

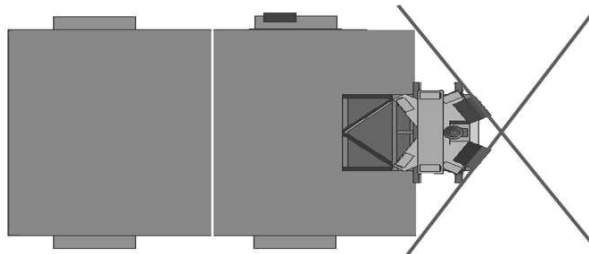
Skanery laserowe muszą być zintegrowane na sztywno z układem GNSS/IMU. Do pomiaru geometrii toru proponuje się użycie systemu opartego o bezkontaktowe metody pomiaru, np. z zastosowaniem technik laserowych (light-section). Kolejnym elementem jest zestaw od 4 do 6 wysokorozdzielczych kamer. Jedna para kamer stanowi zestaw kamer fotogrametrycznych i stosowana jest do realizacji dodatkowych pomiarów uzupełniających. Mogą być również stosowane łącznie z dwoma pozostałymi kamerami do kolorowania chmury punktów. W celu weryfikacji trajektorii ruchu oraz do opcjonalnego wyzwiania kamer, do jednego z kół zestawu kołowego montowany jest odometr. Cały zestaw urządzeń montowany jest na profilu mocowanym do platformy wagonu.

Fotogrametryczny system wizyjny powinien charakteryzować się następującymi komponentami: minimalna rozdzielczość przetworników kamer (matryce CCD lub opcjonalnie matryce wykonane w najnowszej technologii CMOS z tzw. migawką globalną - „global shutter”) 5 Megapikseli, interfejsy GiGE (opcjonalnie FireWire) lub CamkeraLink, stało-ogniskowe obiektywy o minimalnej wartości ogniskowej $f = 5$ mm (preferowany obiektyw stało-ogniskowy $f = 8$ mm) charakteryzujące się bardzo małymi wartościami dystorsji.

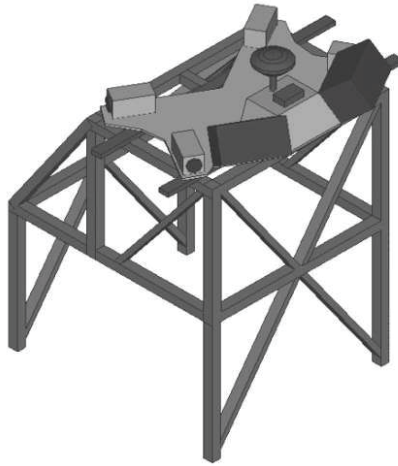
Schemat rozmieszczenia poszczególnych elementów systemu w różnych wariantach montażu wysokorozdzielczych kamer cyfrowych przedstawiono na poniższym rysunku (rys. 14-16).

Komponenty systemu:

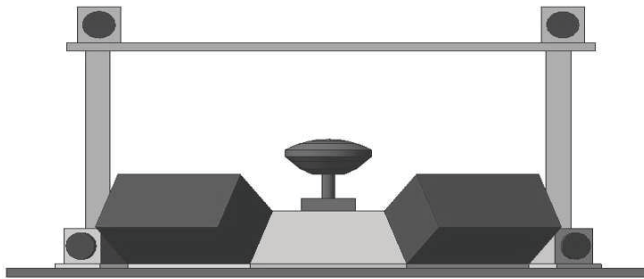
- układ skanerów 2D profilujących w dwóch kierunkach ukośnych,
- układ czterech kamer do kolorowania chmury punktów ze skaningu laserowego,
- moduł georeferencyjny GNSS/IMU zintegrowany z skanerami i kamerami,
- odometr,
- opcjonalnie: dodatkowy skaner profilujący prostopadle do torów,
- opcjonalnie: moduł fotogrametryczny składający się z układu stereowizyjnego o geometrii kanonicznej.



Rys. 14. Proponowany model platformy pomiarowej



Rys. 15. Proponowany model platformy pomiarowej



Rys. 16. Układ kamer do pomiaru stereoskopowego

7. Koncepcja bazy danych

W ramach projektu opracowano rozwiązanie informatyczne zawierające: bazę danych, aplikację umożliwiającą przeglądanie bazy i nadawanie kodów oraz szereg pomocniczych programów mających na celu np. import danych pomiarowych do bazy danych.

Kluczowym elementem tego rozwiązania jest baza danych. W momencie rozpoczęcia prac nad bazą danych, potencjalny wybór silnika baz danych został ograniczony do dwóch (istniejących wtedy) komercyjnych rozwiązań:

- Oracle 11g R2 z dodatkiem Oracle Spatial,
- Microsoft SQL Server 2008 R2.

Ostatecznie wybrano bazę danych Oracle. Za wyborem tego rozwiązania przemawiały przede wszystkim następujące aspekty:

- wsparcie przetwarzania danych w postaci wielowymiarowej chmury punktów (dane ze skaningu laserowego),

- możliwość przetwarzania danych w różnych układach odniesienia i możliwość konwersji pomiędzy nimi (np. układ 2000, układ 1992, WGS-8),
- wsparcie 3D dla danych przestrzennych,
- brak funkcji agregujących przekroje 2D w rozwiązaniu Microsoft,
- łatwiejsza integracji z bazami PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. tj. POS (system „Prowadzenie Opisu Sieci”) i SILK („Systemu Informacji dla Linii Kolejowych”).

Przed podjęciem prac projektowych autorzy przyjęli ponadto następujące założenia:

- Baza ma mieć możliwość importu danych bezpośrednio z pomiaru, a więc musi zapisywać zarówno chmurę punktów jak i zdjęcia, przy czym w pierwszej kolejności analizowane będą dane z chmury punktów, a dane obrazowe będą służyć do ewentualnej weryfikacji miejsc wątpliwych, tzn. tych gdzie informacja z chmury punktów nie będą w 100% wystarczająca.
- Baza ma współpracować z bazami POS i SILK. W obu tych bazach podstawowym sposobem adresacji obiektów na linii kolejowej jest kilometr.
- Ze względu na kompatybilność z bazą SILK przetwarzanie danych odbywać się będzie w układzie współrzędnych 1992. Baza ma mieć jednak możliwość konwersji danych do innych układów.

Opracowując bazę danych wykorzystano następujące dane wejściowe:

- dane GPS/INS zawierające współrzędne trajektorii pojazdu; około 200 próbek na sekundę,
- dane ze skaningu laserowego (chmura punktów) około 25 mln punktów (~1.5 GB) na kilometr linii kolejowej,
- zdjęcia z 4 kamer; około 350 zdjęć (~0.3 GB) na kilometr linii kolejowej (w formacie JPG).

W procesie projektowania bazy danych opracowano szereg procedur mających przede wszystkim na celu wczytanie, wstępną redukcję ilości danych, następnie ich uproszczenie i zorganizowanie w formie zapewniającej szybkie czasy odpowiedzi bazy na zapytania związane z wizualizacją danych, oraz nadawaniem kodu. Do najważniejszych punktów tego etapu należały:

- Kalibracja kilometrażu. Podstawowym sposobem adresacji obiektów na linii kolejowej jest kilometr. Odzworowanie współrzędnych geograficznych na liniowy układ odniesienia LRS (Linear Referencing System) zastosowany w SILK zapewnia oprogramowanie Oracle Spatial z funkcjami dynamicznej segmentacji. Obecny model LRS dla linii kolejowych w bazie SILK zostało sporządzone z dokładnością kartograficzną map w skali 1:25000. W związku z tym zdecydowano się jedynie na skalibrowanie danych na podstawie kilkunastu punktów otrzymanych z bazy SILK. Wykorzystując dane GPS obliczono drogę przejechaną przez pojazd dokonujący pomiaru. Następnie tak obliczoną drogę nałożono na zbiór punktów otrzymanych z bazy SILK.
- Wyznaczenie geometrii toru. Na podstawie danych GPS badany odcinek linii kolejowej podzielono na elementarne odcinki o długości 1 m. Przyjmując, że na takim odcinku promień skrętu jest zaniedbywalny wyszukano

w chmurze punktów położenie obu szyn. (wraz z wysokością, co zapewniło uwzględnienie w dalszych rozważaniach przechyłki). Na tej podstawie wyznaczono lokalny układ współrzędnych, w którym:

- * środek układu znajduje się dokładnie pomiędzy szynami, w kierunku Y oraz w połowie odcinka (1 m) wzdłuż kierunku jazdy (X),
 - * oś Y jest położona na szynach (uwzględnia przechyłkę),
 - * oś X jest prostopadła do niej i pokrywa się z kierunkiem ruchu pojazdu,
 - * oś Z jest prostopadła do płaszczyzny XY.
- Redukcja danych. Aby zredukować ilość danych 3D przechowywanych w bazie postanowiono ograniczyć chmurę do pasa wzdłuż toru jazdy o szerokości 8 m w kierunku drugiego toru oraz 4 m w kierunku przeciwnym.
 - Implementacja przekrojów 2D. Dla każdego wyznaczonego odcinka 1 m dokonano rzutu chmury punktów na płaszczyznę YZ. Ponieważ każdy z takich odcinków posiada swój własny, zdefiniowany wyżej, układ odniesienia, a każdy z tych układów opisuje przestrzeń z punktu widzenia poruszającego się pojazdu, przekroje takie można składać. W bazie danych zdecydowano się przechowywać przekroje z odcinków 10 m, 100 m, 1 km oraz sumaryczne przekroje związane z regułami kodowania opisanymi w karcie UIC 502-2 i dzielącymi linie kolejową na segmenty (np. pomiędzy stacjami kolejowymi czy rozjazdami).

Koncepcja wyznaczania skrajni kolejowej

Zaprojektowana w rozwiązaniu informatycznym koncepcja wyznaczania skrajni kolejowej jest w głównej mierze oparta na metodzie konturów 2D.

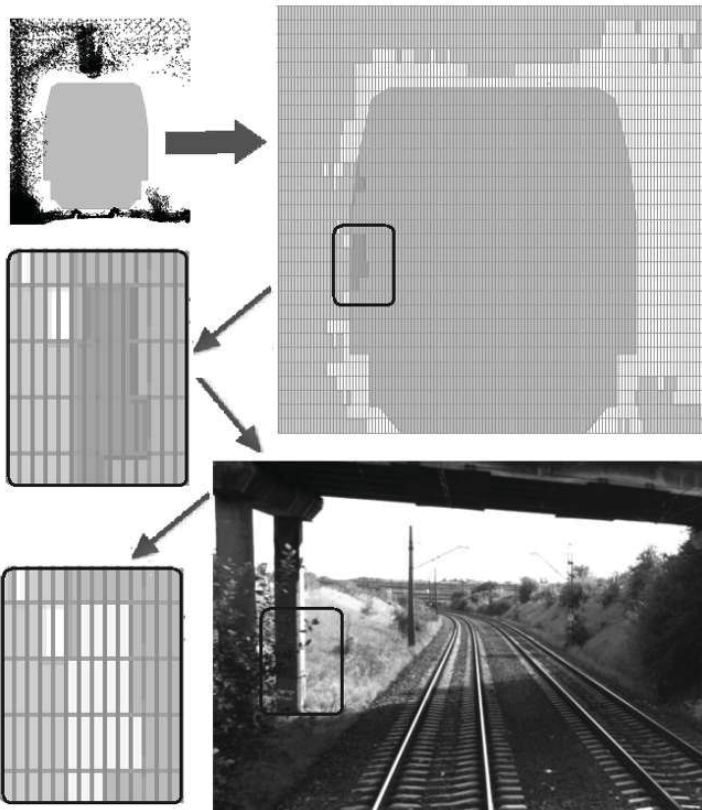
Ponieważ przekroje 3D bazujące na chmurze punktów charakteryzują się dość dużym rozmiarem, istniała konieczność ich kompresji. Przechowywanie takich przekrojów może okazać się niepraktyczne. Z drugiej strony dokładność takich przekrojów (co do punktu) jest niepotrzebna z punktu widzenia skrajni (oraz jej kodów). W ramach projektu opracowano algorytm, który na danych z chmury punktów tworzy przekroje 2D (poprzez spłaszczanie danych z chmury punktów 3D).

Przekrój 2D powstały z chmury punktów w układzie odniesienia związanym z osią toru powstaje poprzez podzielenie całego obszaru 2D na przykładową siatkę o boku 50 mm. Jeśli w obrębie wybranej komórki siatki znajduje się jakiś punkt cała komórka zostaje uznana za zajęta.

Algorytm wykonuje takie przekroje, co 10, 100, 1000 metrów na dowolnym odcinku toru. Przekroje te następnie uprasza się poprzez przyjęcie siatki o wymiarach 20 x 50 mm. Operacja ta może być wykonana automatycznie. Aplikacja pozwala również na łączenie przekrojów, tj. np. tworzenie jednego przekroju na odcinku np. kilku km.

Zadaniem operatora aplikacji jest zatem przeglądanie przekrojów i w przypadku znalezienia jakiegoś konfliktu (przekroczenia skrajni) zażądanie od bazy bardziej szczegółowego przekroju - lub zdjęcia pokazującego podejrzany obszar.

Na podstawie tych danych może unieważnić jakiś element siatki. Schemat tej koncepcji zawiera rysunek 17.



Rys. 17. Zarządzanie przekrojami w bazie danych

Rys. 17 przedstawia przykładowy przekrój utworzony z rozdzielczością 20 x 50 mm. Widać tutaj, że następuje przekroczenie skrajni budowli (kolor ciemnoszary na tle jasnego). W takim przypadku konieczna jest weryfikacja tego, co jest przyczyną przekroczenia skrajni. W tym wypadku dzięki wizualizacji na zdjęciach widać, że jest to tylko roślinność.

W takiej sytuacji punkty siatki mogą zostać odznaczone jako np. „nieważne” (kolor jasnoszary).

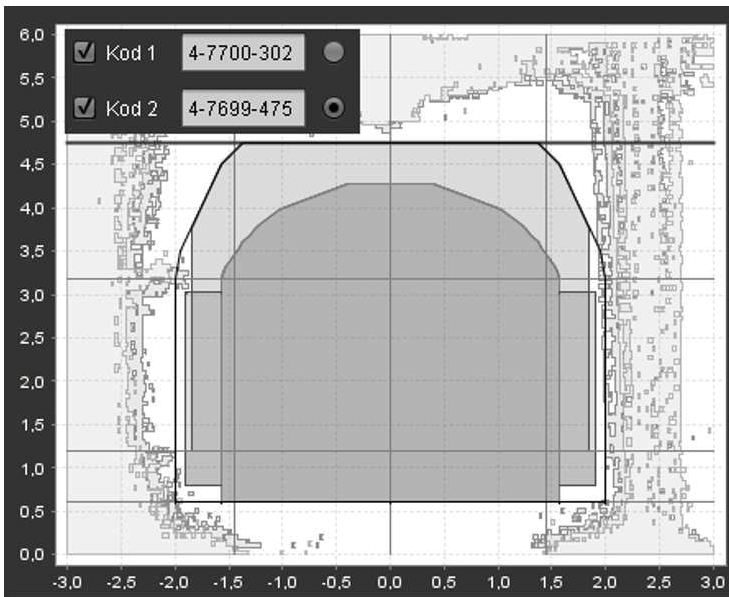
Nadawanie kodu

W projekcie korzystano z metody konturowej pochodzącej z karty UIC 502-2. Metoda ta charakteryzuje się staranniejszym doбором punktów bazowych oraz dokładniejszym opisaniem reguł kodowania niż podobna, 3 sektorowa metoda, opisana w instrukcji Ir-10.

Karta ta określa możliwość opisanie linii kolejowej przy pomocy makro. Należy zaznaczyć, że to rozwiązanie umożliwia w lepszym stopniu przybliżenie przekroju

z zarysem makro (lepsze wykorzystanie przestrzeni). W rozwiązaniu bazodanowym opracowano procedury implementujące tę metodę oraz opracowano metodę interaktywnego nadawania kodu dla linii kolejowej. Dla zachowania zgodności z kartą UIC wprowadzono możliwość podziału linii kolejowej na odcinki.

Przykład interaktywnego nadawania kodu dla odcinka linii kolejowej znajduje się na rysunku 18.



Rys. 18. Nadawanie kodu dla odcinka linii kolejowej

Rys. 18 przedstawia przekrój przez wybrany fragment linii kolejowej wraz z wpisanymi wewnątrz dwoma składnikami makro opisującymi ten fragment. W aplikacji kształty odpowiadające kodom są generowane automatycznie na podstawie położenia klikniętego punktu.

W projekcie autorzy zaproponowali metodę składania makr. Metoda ta może służyć do wyznaczenia sumarycznego makra umożliwiającego sprawdzenie możliwości przyjęcia przesyłki, w przypadku przejazdu przez wiele odcinków trasy, opisanych za pomocą kolejnych makr.

Dodano możliwość sprawdzenia przyjęcia przesyłki do przejazdu poprzez zaimplementowanie metody punktów krytycznych, opisujących w przybliżony sposób kształt przesyłki z zachowaniem jednak reguł gwarantujących, że utworzony przekrój przesyłki jest niemniejszy, niż jej rzeczywisty kształt. Zaimplementowana metoda umożliwi obliczenie parametrów przesyłki z uwzględnieniem kilku wariantów obliczeń.

W przypadku przesyłki opracowano procedurę automatycznego nadawania pojedynczego kodu, dzięki której kryterium przyjęcia przesyłki ogranicza się tylko do porównywania jej kodu z kodem linii, po której ma być przewożona.

Dzięki tym rozszerzeniom możliwe jest zbadanie skuteczności kodowania poprzez zweryfikowanie wyników opierających się wyłącznie na porównywaniu kodów z graficzną wizualizacją przekrojów trasy oraz przesyłki dostępną w rozszerzonej przeglądarce.

Aplikacja

W ramach rozwiązania informatycznego autorzy opracowali aplikację służącą do interaktywnej prezentacji zgromadzonych danych wraz z opcją zbadania możliwości przyjęcia przesyłki do przejazdu poprzez wybrany odcinek linii kolejowej. Oprócz wspomnianego wyżej, nadawanie kodu dla linii kolejowej z najważniejszych funkcjonalności zaimplementowanych w aplikacji należy wymienić.

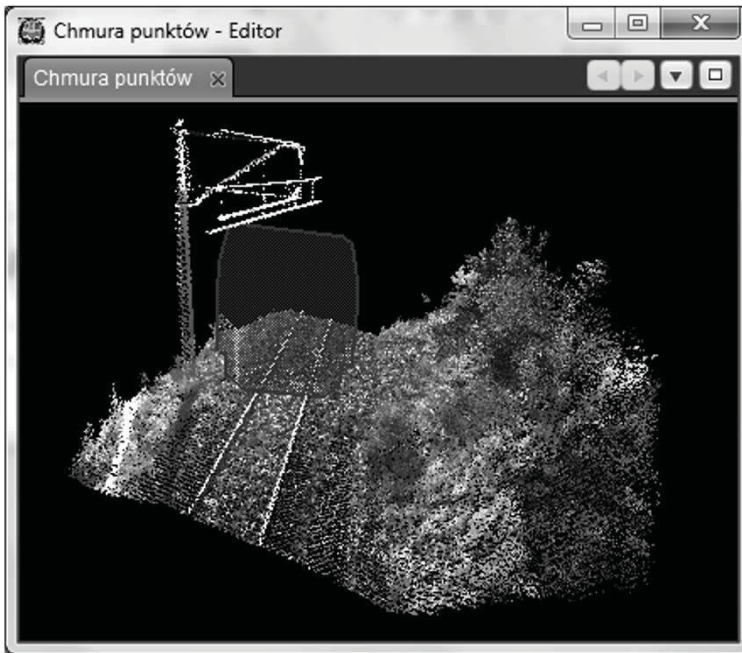
Animacja



Rys. 19. Okno animacji w zaimplementowanym programie

Rys. 19 przedstawia przykład animacji. Animacja jest tworzona na bieżąco z pobieranych trybie on-line (wraz z koniecznym ich buforowaniem) z bazy danych - zdjęć. Można wybrać zdjęcia z jednej z dostępnych kamer oraz dodatkowo umieścić na filmie dowolnie wybrany kontur. Kontur może być konturem predefiniowanym (np. zarys skrajni budowli, czy zarys międzynarodowej skrajni ładunkowej) lub konturem utworzonym w innej części aplikacji (np. kształt przesyłki). Pasek nawigacji jest skalibrowany z kilometrażem trasy. Można przenieść się w dowolne miejsce trasy, zatrzymać animację i np. zmienić kamerę. Po zatrzymaniu animacji możliwe jest otwarcie innego widoku zawierającego, np. przekrój 2D czy widok chmury punktów 3D.

Chmura punktów



Rys. 20. Widok 3D przedstawiający chmurę punktów

Rys. 20 przedstawia typową wizualizację chmury punktów wybranego fragmentu trasy. Możliwe jest dodanie do widoku dowolnego konturu zdefiniowanego w innych częściach aplikacji. Przy pomocy myszki można przesuwając ten przekrój w dowolne miejsce wzdłuż toru. Umieszczenie konturu na tym widoku ma na celu pomoc w określeniu elementów skrajni, które są w kolizji z tym konturem. Ponadto przy użyciu myszki można dokonywać operacji takich jak: zmiana perspektywy, obroty, powiększenia itd. Widok udostępnia ponadto pomiar odległości pomiędzy dwoma dowolnie wybranymi punktami lub odczytanie współrzędnych wybranego punktu. Pomiarów tych można dokonywać zarówno w układzie toru, jak i w układzie geodezyjnym. Widok jest zsynchronizowany z innymi widokami - zwłaszcza z przeglądarką zdjęć.

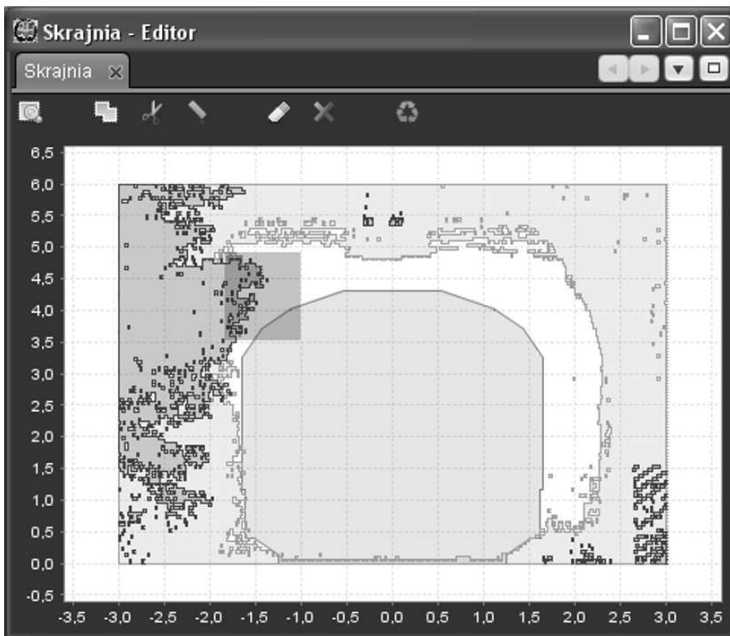
Przeglądarka zdjęć

Rys. 21 przedstawia przeglądarkę zdjęć zaimplementowaną w programie. Widok jest zsynchronizowany z widokiem 3D. Zaznaczony na zdjęciach kontur przesuwa się wraz z przesuwaniem konturu na widoku 3D. W ten sposób można przy pomocy zdjęć lepiej zidentyfikować elementy skrajni będące w kolizji z zaznaczonym konturem. Zdjęcia są opisane przy pomocy kilometrażu i posiadają w formie atrybutu czas ich wykonania. Możliwy jest podgląd zdjęć z wszystkich 4 kamer bądź tylko z jednej.



Rys. 21. Przeglądarka zdjęć

Przekroje 2D

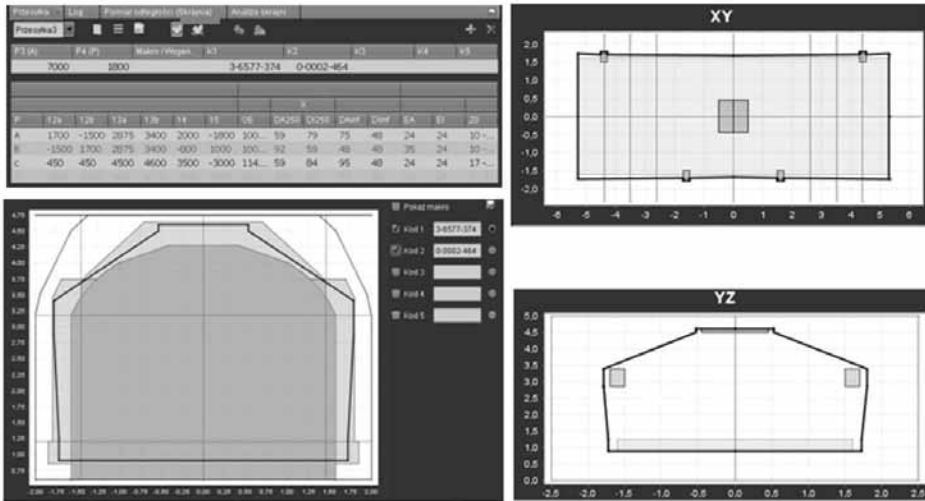


Rys. 22. Przekrój 2D

Rys. 22 przedstawia zaimplementowany w programie widok przekroju 2D. Widok przedstawia przekrój przez dłuższy odcinek linii wraz z wyodrębnionym ciem-

niejszym kolorem przekrojem 10-cio metrowym. Za pomocą tego widoku można porównywać przekrój przez wybrany odcinek trasy z wybranym konturem (np. kształtem przesyłki), dokonywać pomiarów skrajni w układzie związanym z osią toru, wyszukiwać kolizje, odznaczać nieistotne elementy skrajni (np. roślinność).

Przesyłka



Rys. 23. Definiowanie przesyłki

Rys. 23 przedstawia zaimplementowaną w programie metodę punktów krytycznych umożliwiającą wprowadzanie przesyłki. Na podstawie wprowadzonych punktów generowane są przekroje w płaszczyznach XY oraz YZ. Program umożliwia wybór różnorodnych opcji sposobu obliczenia koniecznych naddatków opisanych w UIC 502-2 oraz w instrukcji Ir-10. Na podstawie tych opcji możliwe jest wygenerowanie kształtu przesyłki, który następnie może zostać poddany procesowi nadawania kodu przesyłki.

Inne opcje programu

Ponadto aplikacja umożliwia:

- Porównanie kształtu przesyłki z przekrojem przez wybrany odcinek linii kolejowej w celu stwierdzenia możliwości przyjęcia tej przesyłki do przewozu. Oprócz porównywania kształtów pozwala na porównywanie kształtów wynikających z reguł kodowania przesyłki oraz linii. Dzięki temu możliwe jest zbadanie skuteczności kodowania. Zwłaszcza można pokazać, że użycie makr zarówno do opisu przesyłki jak i trasy powoduje lepsze wykorzystanie przestrzeni, a co za tym idzie dokładniejsze określenie możliwości przyjęcia przesyłki.
- Znalezienie miejsc, w których ograniczenie prędkości mogłoby spowodować warunkowe umożliwienie przyjęcia przesyłki (mniejsze odchylenia eksploatacyjne w przypadku przejazdu z prędkością poniżej 5 km/h).

- Nawigację na mapie. tj. znalezienie na mapie interesującego fragmentu trasy (np. stacja kolejowa) i przejście do innych widoków.
- Podział linii kolejowej na odcinki (np. stacja – stacja).
- Widok analizy skrajni, na którym, przy pomocy prostego wykresu, zobrazona jest wielkość dostępnej dla przejazdu przestrzeni. Widok ten jest zorganizowany hierarchicznie tj. trasa jest podzielona na odcinki kilometrowe, stumetrowe oraz dziesięciometrowe. Przy pomocy tego widoku można szybko określić miejsca, w których jest konieczna interwencja operatora.

8. Podsumowanie

Celem artykułu było pokazanie wyników projektu budowy prototypu platformy do pomiaru skrajni linii kolejowych.

Finalnym etapem badań było zaproponowanie modelu naziemnej platformy skanerowej wraz z modułem georeferencyjnym i fotogrametrycznym, który zaprezentowano z punkcie 6.

Założono, że przy wykorzystaniu dostępnych obecnie skanerów i zastosowaniu skanowania prostopadłego wraz z ukośnym, można gwarantować detekcję wszystkich przeszkód w obszarze przytorowym mających jeden z rozmiarów większy od 5 cm. Niemożliwe jest natomiast pełne zidentyfikowanie, czym jest powierzchnia odbijająca. Zatem po wykryciu tak małych „jedno-punktowych detali”, konieczna jest identyfikacja elementu kolizyjnego i jego pomiar na podstawie zdjęć z kamer.

Jak wynika z doświadczeń, przeglądanie zdjęć było najsłabszą stroną technologii fotogrametrycznej ze względu na pracochłonność i możliwość pominięcia obiektów wchodzących w obszar skrajni. Również pomiar na modelu 3D uzyskanego za pomocą systemu stereowizyjnego ma charakter manualny z niewielkim zakresem automatyzacji. Wynika to ze specyfiki przestrzeni pasa kolejowego, w której obiekty stanowiące przedmiot pomiaru są stosunkowo małe, często wysmukłe, pomiędzy nimi na zdjęciach rejestrowane jest względnie dalekie tło, co gwałtownie zmienia głębię modelu stereoskopowego. Stąd wspomaganie fotogrametryczne w postaci stosowanej dotychczas powinno być zredukowane do absolutnego minimum - do wyjaśnienia wątpliwości pojawiających się w czasie pomiarów na chmurze punktów (czyli incydentalnie).

Jednym z wniosków z wykonanych prac jest stwierdzenie, że chmura punktów powinna powstawać z profilowania w różnych kierunkach: prostopadłego i ukośnego do osi toru. Pomiar na chmurze uzyskanej z profilowania prostopadłego daje lepsze dokładności, lecz nie zawsze jest w stanie wykryć istnienie obiektów (zwłaszcza o małym rozmiarze wzdłuż torów, a rozciągniętych w poprzek). Składanie skanowania z profilowania w różnych kierunkach zwiększa gęstość chmury punktów, która to gęstość ma krytyczne znaczenie dla identyfikacji szczegółów. Średnia odległość pomiędzy profilami w testowanych chmurach punktów wahała się od 0.05 m do 0.20 m, przy czym mniejszy interwał osiągnąć było tylko przy

małych prędkościach przejazdu. Zastosowane w testach systemy nie były w stanie zapewnić wystarczającej gęstości danych dla przejazdu z prędkością 80 km/h.

Określona wystarczająca gęstość oznacza możliwość wykrycia detali o rozmiarach kilkunastymetrowych. Zatem docelowy system, który ma pracować przy prędkości 100 km/h, musi wykorzystywać zarówno różne kierunki profilowania, jak i skanery o wyższej wydajności.

Bibliografia

- [1] Mikrut S., Pyka K., Tokarczyk R, 2012, Systemy do pomiaru skrajni kolejowej – przegląd i tendencje rozwoju. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 23, s. 291–301.
- [2] Shan J. Toth C.K., 2009, *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. CRC Press.
- [3] Instrukcja o przewozie przesyłek nadzwyczajnych Ir-10. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 29 września 2004 r. z późn. zm.
- [4] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 18 maja 2005 r. z późn. zm.
- [5] Master Plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku, przyjęty uchwałą Rady Ministrów z dnia 19 grudnia 2008 r.
- [6] PN EN 15273-1 Kolejnictwo - Skrajnie - Część 1: Postanowienia ogólne. Wymagania wspólne dla infrastruktury i pojazdów szynowych.
- [7] PN EN 15273-2 Kolejnictwo - Skrajnie - Część 2: Skrajnia pojazdów szynowych.
- [8] PN EN 15273-3 Kolejnictwo - Skrajnie - Część 3: Skrajnie budowli.
- [9] Karta UIC 502 - 1 Przesyłki nadzwyczajne – postanowienia w zakresie procesu planowania i obsługi przewozów przesyłek nadzwyczajnych. Wyd. 2, kwiecień 2009.
- [10] Karta UIC 502-2 Exceptional consignments – Outline procedure. Wyd. 1, listopad 2009.
- [11] Karta UIC 505-1 – Pojazdy kolejowe – skrajnia pojazdów – Wyd. 10, maj 2006.